

Regionalisierte Modellierung szenariobasierter Covid-19 Epidemieverläufe unter Berücksichtigung der lokalen demographischen Struktur

Lemm, Jan Uwe; Kreklow, Jennifer; Hüskes, Robin

Veröffentlichungsversion / Published Version
Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Lemm, J. U., Kreklow, J., & Hüskes, R. (2021). Regionalisierte Modellierung szenariobasierter Covid-19 Epidemieverläufe unter Berücksichtigung der lokalen demographischen Struktur. *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 34(1), 52-57. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-72576-7>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-SA Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-SA Licence (Attribution-NonCommercial-ShareAlike). For more information see: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

Regionalisierte Modellierung szenariobasierter Covid-19 Epidemieverläufe unter Berücksichtigung der lokalen demographischen Struktur

Epidemiologische Modelle dienen der Vorhersage möglicher Verläufe von Epidemien oder Pandemien unter Annahme unterschiedlicher Szenarien. Am Beispiel der Stadt Wolfsburg wird in dieser Studie eine regionale Anpassung eines generalisierten S-E-I-R Modells der Universität Basel unter Berücksichtigung lokaler demographischer Strukturen und möglicher Maßnahmen zur Eindämmung vorgestellt. Die Studie zeigt, dass eine Regionalisierung eines S-E-I-R Modells auf kommunaler Ebene möglich ist und den Einfluss getroffener Maßnahmen auf die Ausbreitungsdynamik abbilden kann.

Jan Uwe Lemm

M. Sc. – Mitarbeiter der Stadt Wolfsburg im Referat Strategische Planung, Stadtentwicklung und Statistik – Mitglied in der KOSIS Lenkungsgruppe SIKURS und beratendes Mitglied der KOSIS Lenkungsgruppe KO.R

✉ jan-uwe.lemm@stadt.wolfsburg.de

Dr. Jennifer Kreklow

rer. nat. – Mitarbeiterin der Stadt Wolfsburg im Referat Strategische Planung, Stadtentwicklung und Statistik

✉ jennifer.kreklow@stadt.wolfsburg.de

Robin Hüskes

M. Sc. – Mitarbeiter der Stadt Wolfsburg im Referat Strategische Planung, Stadtentwicklung und Statistik – Mitglied in der KOSIS Lenkungsgruppe DUVA

✉ robin.hueskes@stadt.wolfsburg.de

Schlüsselwörter:

Covid-19 – Epidemiologie – Prognose – Modellierung – Szenarien – altersspezifisches S-E-I-R Modell – Krankenhausbedarf – Multidisziplinarität

Einleitung

Das Coronavirus SARS-CoV2, das die Atemwegserkrankung Covid-19 auslöst, wurde Ende Januar 2020 erstmals in Deutschland nachgewiesen und breitete sich anschließend schnell im ganzen Land aus. Zur Eindämmung der Ausbreitung und zum Schutz des Gesundheitssystems vor einer Überlastung wurden während der „ersten Welle“ im Frühjahr 2020 zahlreiche Infektionsschutzmaßnahmen ergriffen, darunter ein sogenannter „harter Lockdown“. Die Auswirkungen derartiger Maßnahmen sind seitdem Gegenstand intensiver Forschung (z. B. Khailaie et al. 2020), um die Wirksamkeit der Maßnahmen und die Ausbreitungsdynamik des Virus besser zu verstehen.

Die vorliegende Studie stellt die Modellierung und Analyse von drei Szenarien unter Annahme unterschiedlicher Infektionsschutzmaßnahmen vor, welche die Entwicklung der Covid-19-Epidemie und die Belastung des Gesundheitssystems unter Berücksichtigung der regionalen Altersstruktur in der Stadt Wolfsburg mit 125.408 Einwohner*innen (Stichtag 31.12.2018) abbilden. Die Modellierung erfolgte mit einem generalisierten S-E-I-R Modell (Susceptible - Exposed - Infectious - Recovered), das um Informationen zu den einzelnen Stadien des Infektions- und Krankheitsverlaufs erweitert wurde. Zeitlich bilden die modellierten Szenarien die Ausbreitung von Covid-19 während der „ersten Welle“ in Deutschland ab (Anfang März bis Mitte Juni 2020).

Während der ersten Welle bestanden noch erhebliche wissenschaftliche Kenntnislücken, sowohl zum Schweregrad einer COVID-19-Erkrankung als auch zur absoluten Infektionssterblichkeit (IFR – infection fatality rate). Da die Schwere der Krankheitsverläufe stark vom Alter abhängig ist, sind gesicherte Erkenntnisse hierzu unerlässlich. Eine gesonderte Betrachtung von etwaigen Risikogruppen erfolgt in dem verwendeten Modell nicht. Dieser Einflussfaktor wird im Modell vollständig über das Merkmal Alter abgebildet.

Ziel der Analysen war eine allgemeine Einschätzung zum epidemiologischen Verlauf der Pandemie auf kommunaler Ebene unter Annahme verschiedener Szenarien: (1) ohne Maßnahmen, (2) mit einem fortwährenden, strengen „Lockdown“ und (3) bei schrittweiser Lockerung von Maßnahmen. Außerdem sollten die Auswirkungen der verschiedenen Pandemieverläufe auf das lokale Gesundheitssystem mitberücksichtigt werden. Großskalige Modellierungen vernachlässigen häufig lokale Besonderheiten wie lokale demographische Strukturen oder Kapazitäten des lokalen Gesundheitswesens. So weicht bei-

spielweise die demographische Struktur Deutschlands insbesondere in der höchsten Altersgruppe (80 Jahre und älter) stark von der lokalen demographischen Struktur in Wolfsburg ab. Mit 7,8 % lag der Anteil der 80-Jährigen und älter an der Gesamtbevölkerung in Wolfsburg zum Stichtag 31.12.2018 um einen Prozentpunkt bzw. 14,6 % höher als auf Bundesebene (6,8 %) (DESTATIS 2020). Da der Schweregrad der Krankheitsverläufe von Covid-19 stark altersabhängig ist, sind nationale Modellierungen somit nur schwer übertragbar auf die kommunale Ebene. Der hier vorgestellte regionalisierte Ansatz soll diese Lücke füllen, um epidemiologische Verläufe auch auf kommunaler Ebene modellieren zu können. Diese Informationen können Entscheidungsträger*innen dabei unterstützen, Maßnahmen mit Rücksicht auf lokale Besonderheiten hin anzupassen.

Datengrundlage

Die Modellierung der drei Szenarien für die Stadt Wolfsburg erfolgte mit dem Online Tool „Covid-19 Szenarios“ (<https://covid19-scenarios.org/>), welches von der Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Richard Neher am Biozentrum der Universität Basel entwickelt wurde. Eine detailliertere Beschreibung des verwendeten Modells folgt im Abschnitt „Methodik“. In der Modellierungsumgebung selbst und in der dazugehörigen PrePrint-Veröffentlichung (Noll et al. 2020) werden ein Überblick über die im Modell berücksichtigten Parameter gegeben sowie detaillierte Parameterbeschreibungen bereitgestellt. Die Eingangsparameter des Modells untergliedern sich in die übergeordneten Themen

- „Bevölkerung“,
- „Krankenhauskapazitäten“,
- „Epidemiologie“,
- „Maßnahmen“ und
- „altersspezifische Parameter“.

Die Regionalisierung umfasst in dieser Studie zum einen die Anpassung der Modelle an die lokale demographische Struktur und zum anderen die Interpretation der Ergebnisse mit Berücksichtigung der lokalen Kapazitäten des Gesundheitssystems.

Bei den epidemiologischen Parametern gab es Bedarf an Expertenwissen, da das Virus und die daraus resultierende Krankheit noch sehr neu waren und epidemiologisches wie auch virologisches Fachwissen nicht durch die Autor*innen abgedeckt werden konnte. Fachliche Unterstützung gab es von Herrn Dr. Tanmay Mitra aus der Arbeitsgruppe um Herrn Prof. Dr. Meyer-Hermann, Leiter der Abteilung System-Immunologie am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig. Es ist zu beachten, dass die verwendeten Parameter-Ausprägungen den Stand der Forschung aus dem Frühjahr 2020 darstellen und seitdem weitere intensive Forschung zu Covid-19 stattgefunden hat. Die zum Zeitpunkt der Modellierung verwendeten Ausprägungen von Parametern sind also nur beispielhaft zu sehen und stellen nicht mehr den aktuellen Stand der Forschung dar.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in den Modellen verwendeten Parameter und deren Ausprägungen.

In den folgenden Abschnitten werden die Eingangsparameter der verschiedenen übergeordneten Themen näher erläutert.

Bevölkerung

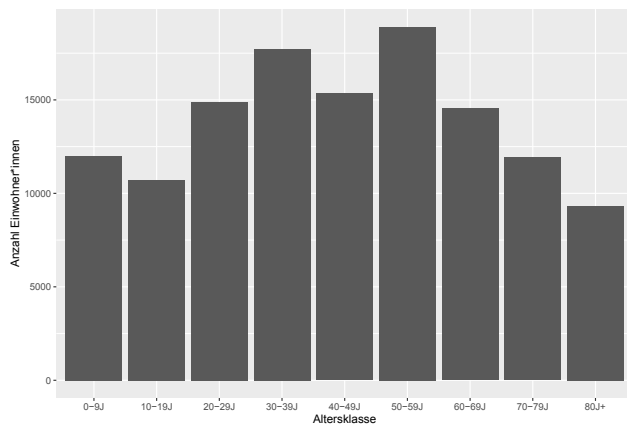
Die lokale Altersstruktur spielt in der Modellierung der epidemiologischen Verläufe von Covid-19 eine zentrale Rolle. Die verwendete Verteilung ist in Abbildung 1 zu sehen. Das Alter kann als zentraler Proxy für die Wahrscheinlichkeit eines schweren Verlaufs herangezogen werden. Allgemein gilt mittlerweile als gesichert, dass die Anzahl der schweren Verläufe und auch der Todesfälle in Zusammenhang mit Covid-19 logarithmisch mit dem Alter zunehmen (Levin et al. 2020). Als Proxy

Tabelle 1: Übersichtstabelle über Eingangsparameter

Parameter	Themenbereich	Wert
Schweregrad der Erkrankung	altersspezifische Parameter	Abhängig von Altersklasse
Altersverteilung	Bevölkerung	lokal angepasst, s. Abb. 1
Einwohner*innenzahl (Stand: 31.12.2018)	Bevölkerung	125.408
Importierte Fälle pro Tag (von außerhalb des Stadtgebietes)	Bevölkerung	0,1
Basisreproduktionszahl R_0 am Anfang der Epidemie	Epidemiologie	Min: 2,8 Max: 3,2
Durchschnittliche Zeit in normalen Krankenhausbetten [Tage]	Epidemiologie	10
Infektiöse Periode [Tage]	Epidemiologie	6
Latenzzeit [Tage]	Epidemiologie	2,1
Saisonale Variation der Übertragbarkeit	Epidemiologie	0,05
Durchschnittliche Zeit auf der Intensivstation [Tage]	Epidemiologie	14
Positiv getestete Menschen am Start der Epidemie	Epidemiologie	5
Anzahl Intensivbetten (Betten extrem hoch gewählt, um Maximalbedarf zeigen zu können)	Krankenhauskapazitäten	500
Krankenhausbetten	Krankenhauskapazitäten	1.000
Maßnahmenphasen mit Start- und Enddatum zur Reduzierung der Übertragung [%]	Maßnahmen	Variiert je nach Szenario

wird das Alter deshalb bezeichnet, weil sich hinter der Information Alter verschiedene Aspekte einzelner Biographien von Menschen verbergen, die in den Eingangsparametern nicht detailliert oder gar nicht abgebildet werden. Dazu zählen vor allem Vorerkrankungen, deren Anzahl tendenziell mit steigendem Alter zunimmt.

Abbildung 1: Absolute Anzahl an Personen je Altersklasse.



Krankenhauskapazitäten

Die Anzahl der Krankenhausbetten und der Intensivbetten wurde bewusst auf einen unrealistisch hohen Wert von 1.000 bzw. 500 gesetzt, um abbilden zu können, wann welcher Bedarf vorhanden ist. Außerdem führt im Modell ein Überlauf, also eine volle Intensivstation, zu steigenden Sterberaten. Von diesem Fall wurde nicht ausgegangen, da selbst bei vollen Intensivstationen die Möglichkeit der Verlegung von Patient*innen als wahrscheinlich angesehen wurde. Kommt es allerdings zu einer Situation, in der eine Verlegung nicht mehr möglich ist, kann die Erhöhung der Sterblichkeit über den Parameter Severity of ICU overflow im Modell simuliert werden.

Epidemiologie

Die Werte der epidemiologischen Eingangsparameter wurden, wie bereits erläutert, mit Hilfe von Experten abgeschätzt und stellen nicht mehr in allen Fällen den aktuellen Stand der Forschung dar.

Der Parameter Positiv getestete Personen am Start der Epidemie wurde unter Berücksichtigung der Dunkelziffer erweitert. Dabei wurde der Modellbeginn zehn Tage vor der ersten nachgewiesenen Infektion in Wolfsburg angesetzt und die Dunkelziffer für diesen Anfangswert mit Faktor 5 berücksichtigt. Es wird folglich angenommen, dass lediglich 20 % der gesamten Infektionen durch einen PCR Test nachgewiesen wurden (Surveillances 2020).

Die Basisreproduktionszahl R_0 am Anfang der Epidemie beschreibt, wie viele andere Menschen ein Infizierter durchschnittlich ansteckt, wenn auf Grund fehlender Immunitäten und Infektionsschutzmaßnahmen die gesamte Bevölkerung für das Virus empfänglich ist (RKI 2021). In diesem Zusammen-

hang spielt auch der Parameter Latenzzeit eine wichtige Rolle. Dieser beschreibt die Dauer von der Ansteckung einer Person bis zu dem Zeitpunkt, an dem diese Person selbst infektiös wird und somit andere Menschen anstecken kann.

Die saisonale Variation der Übertragbarkeit beschreibt die jährliche Amplitude von erhöhter oder niedrigerer Saisonalität in Winter und Sommer. Der Wert repräsentiert die maximale Veränderung der mittleren Basisreproduktionszahl, ausgelöst durch saisonale Effekte. Der in dieser Studie gewählte Wert von 0,05 ist sehr gering, d.h. die Saisonalität wurde nicht berücksichtigt, da die saisonale Variation der Übertragbarkeit zu Beginn der Epidemie noch schwer abzuschätzen war.

Darüber hinaus zählen die durchschnittliche Zeit in normalen Krankenhausbetten, die durchschnittliche Zeit auf der Intensivstation sowie die infektiöse Periode zu den epidemiologischen Parametern.

Maßnahmen

Maßnahmen werden im Modell mathematisch als Reduktion der Übertragungsraten von einer Person auf weitere Personen definiert. In der Realität umfassen die Maßnahmen unter anderem persönliche Maßnahmen der sozialen Distanzierung und Hygiene sowie politische Maßnahmen. Eine genaue Quantifizierung einzelner und kombinierter Maßnahmen ist mit dem verwendeten Modell nicht möglich. Stattdessen werden Maßnahmenphasen über ein Start- und Enddatum mit einer relativen Reduzierung der Übertragung, normiert auf 100 % angegeben. Diese Maßnahmenphasen und -intensitäten sind Grundlage der in dieser Studie angenommenen Szenarien.

Altersspezifische Parameter

Altersgruppenspezifische Parameter umfassen neben den Angaben zur Altersstruktur der lokalen Bevölkerung auch die unterschiedliche Schwere der Krankheitsverläufe verschiedener Altersklassen (hospitalisiert, intensiv-medizinische Behandlung, tödlich). Die allgemeine Altersstruktur ist wichtig für die regionale Anpassung des Modells an die lokalen demographischen Gegebenheiten. Das Modell verwendet einen Korrekturfaktor zum Abschätzen der Dunkelziffer, um die Gesamtinfektion abzuschätzen. Es ist noch einmal zu betonen, dass die gewählten Werte nur als Schätzer zu betrachten sind.

Methodik

Modell

Das verwendete Modell ist ein generalisiertes S-E-I-R-Modell mit Erweiterungen um Informationen zu den einzelnen Stadien des Infektions- und Krankheitsverlaufs (Universität Basel – Covid19-scenarios). Das S-E-I-R Modell ist ein einfaches Modell aus der mathematischen Epidemiologie, mit dem die Dynamik einer Epidemie oder Pandemie beschrieben werden kann (Kermack u. Mc Kendrick 1927). Das Modell unterteilt die Bevölkerung in vier Klassen: Infizierbare (Susceptibles), Exponierte (Exposed), Infizierte (Infected) und Geheilte (Recovered).

Die Modellierung erfolgte in einer interaktiven, browserbasierten Modellierungsumgebung (<https://covid19-scenarios.org/>, Noll et al. 2020), in der die Eingangsparameter direkt eingegeben werden können und die einen Export der Ergeb-

nisse im Format *.tsv ermöglicht. Für weiterführende Analysen wurde die Statistiksoftware R (R Core Team 2020) verwendet.

Im verwendeten Modell werden anfällige Personen durch den Kontakt mit infektiösen Personen exponiert oder infiziert. Jedes infektiöse Individuum verursacht im Durchschnitt R_0 -Sekundärinfektionen, während es infektiös ist. R_0 ist ein Begriff aus der Infektionsepidemiologie (Basisreproduktionszahl) und gibt an, wie viele Menschen durch eine infektiöse Person durchschnittlich angesteckt werden, wenn kein Mitglied der Population gegenüber dem Erreger immun ist. Die Basisreproduktionszahl des Virus ist von zahlreichen Einflussfaktoren wie z.B. Verhaltens- und Hygienemaßnahmen, Jahreszeit sowie Kreuzimmunitäten abhängig. Da im Frühjahr noch keine sicheren Erkenntnisse über Saisonalität und Grundimmunität der Bevölkerung vorlagen, werden diese Parameter bei der Modellierung nicht berücksichtigt.

Exponierte Personen entwickeln sich nach einer durchschnittlichen Latenzzeit in einen symptomatischen/infektiösen Zustand. Diese Progression erfolgt modellintern in drei Stufen, um sicherzustellen, dass die Verteilung der im exponierten Kompartiment verbrachten Zeit realistischer ist als eine einfache exponentielle Verteilung. Infizierte Personen erholen sich oder entwickeln einen schweren Verlauf. Das Verhältnis von Genesung und schwerer Progression hängt vom Alter ab und ein schwerer Verlauf geht im Modell immer mit einer Behandlung im Krankenhaus einher. Schwerer Erkrankte erholen sich entweder wieder oder ihr Gesundheitszustand verschlechtert sich und wird kritisch. Kritisch kranke Personen werden modellintern auf die Intensivstation eingewiesen, können sich entweder erholen und kehren in ein reguläres Krankenhausbett zurück oder sterben. Laut Levin et al. (2020) hängt die Infektionssterberate zu nahezu 90 % von Unterschieden in der Altersstruktur und den altersspezifischen Prävalenzen ab. Das Alter ist damit der wichtigste Einzelfaktor im Hinblick auf unterschiedliche Krankheitsverläufe, wird von den Autor*innen aber wie schon erläutert eher als Proxyvariable gesehen, hinter der sich eine Vielzahl klinisch relevanter Informationen verbirgt.

Kalibriert wurde das Modell mit Hilfe von realen Sterbefällen der räumlich nächst-größeren Ebene, welche im konkreten Anwendungsfall dem Bundesland Niedersachsen entsprach. Auf kommunaler Ebene gab es zu geringere Fallzahlen, um eine valide Kalibrierung sicherstellen zu können. Der betrachtete Zeitraum für die Kalibrierung lag zwischen dem 23. März 2020 und dem 11. Mai 2020. Die Sterbefälle wurden für die Kalibrierung gewählt, da sie eine deutlich kleinere Dunkelziffer aufweisen als die laborbestätigten Fälle mit Hilfe von PCR-Tests.

Zur korrekten Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass das verwendete S-E-I-R Modell, wie jedes Modell, nur eine stark vereinfachte Abbildung der Realität darstellen kann. Demzufolge ist es sehr wichtig, die Potenziale, aber auch die Grenzen und Schwächen des eingesetzten Modells zu kennen. Zu den Grenzen des verwendeten S-E-I-R Modells zählt u. a., dass singuläre Ausbrüche, wie sie vermehrt in Altenheimen vorkommen, nicht abgebildet werden können. Des Weiteren sind nicht alle Modellparameter mit Sicherheit bekannt, u.a. da sie sich regional unterscheiden können, sich über die Zeit verändern und es sich um ein neues Virus und eine neue

Krankheit handelt. Darüber hinaus gibt es einige sehr sensible Parameter, die einen großen Einfluss auf die Modellierung haben. Zu den Wichtigsten zählen dabei jene Parameter, die die Dynamik der Ausbreitung und die Wirksamkeit von Maßnahmen bestimmen.

Szenarien

Um unterschiedliche Verläufe der Epidemie in Wolfsburg zu betrachten, wurden drei Szenarien konstruiert, die im Folgenden kurz erläutert werden.

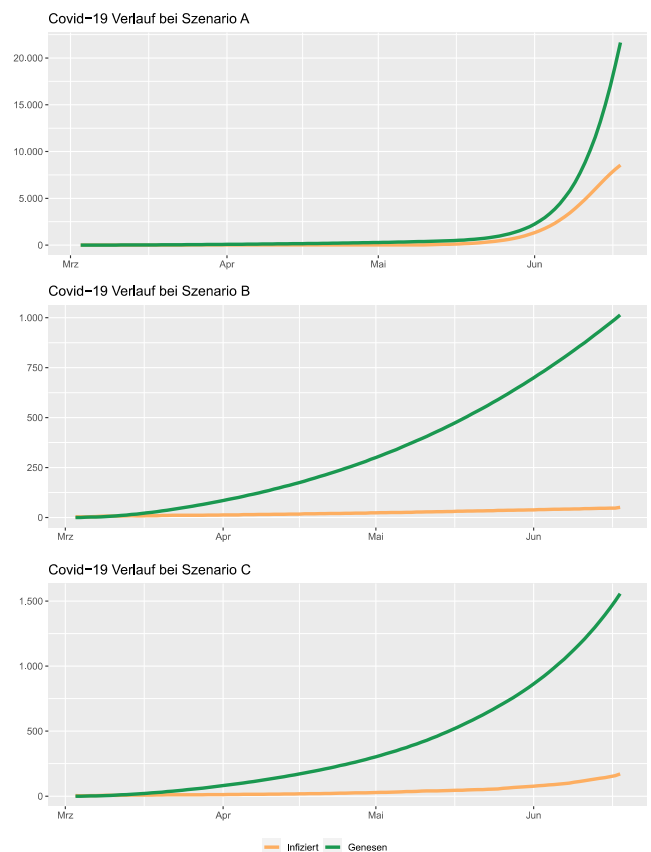
Szenario A: „Worst Case“ Szenario

Dieses Szenario geht davon aus, dass ab dem 11. Mai keine Maßnahmen zur Minimierung der Ausbreitungsgeschwindigkeit mehr getroffen werden. Dieses Szenario soll die „natürliche“ Dynamik der Epidemie ohne wirksame Maßnahmen zur Eindämmung von Covid-19 veranschaulichen und ist rein theoretisch.

Szenario B: „Status Quo“ Szenario

In diesem Szenario werden die Maßnahmen, die seit dem 23. März gelten (Kontaktverbot etc.), bis zum Ende des modellierten Zeitraums (Mitte Juni 2020) fortgeführt.

Abbildung 2: Verlauf der Epidemie unter Berücksichtigung der drei Szenarien. Abgebildet sind die Anzahl an Neuinfektionen und die kumulierte Anzahl an genesenen Personen im Modellzeitraum.

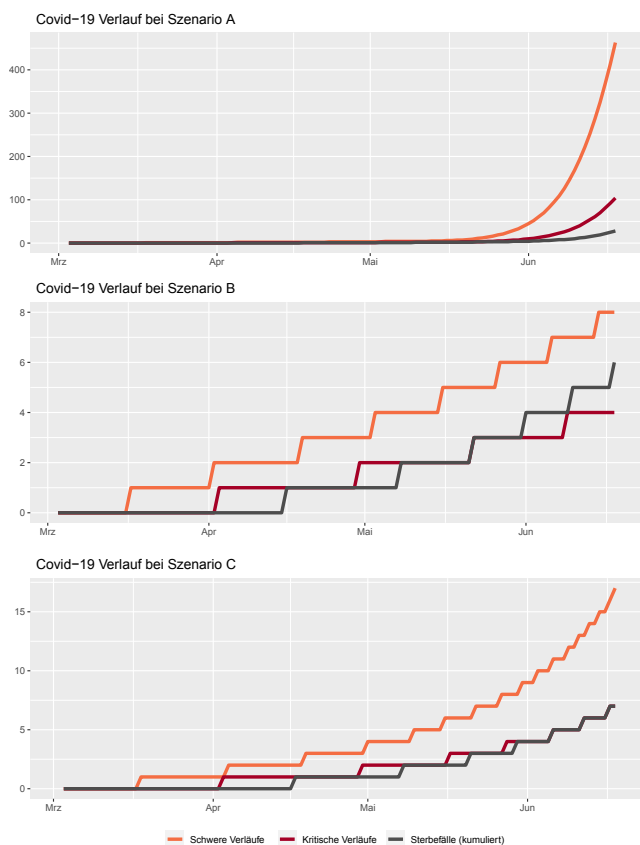


Folglich wurde eine relative Reduktion der Übertragung von einer Person auf die nächste von bis zu 65 % über den gesamten Untersuchungszeitraum angenommen. Vorrangiges Ziel dieses Szenarios ist eine Abschätzung, ob es mit den getroffenen Maßnahmen möglich ist, unter der Kapazitätsgrenze des Gesundheitssystems zu bleiben. Zu beachten ist, dass tatsächlich jedoch Lockerungen beschlossen wurden, sodass das Szenario C der Realität am nächsten kommt.

Szenario C: Schrittweise Lockerung der Maßnahmen

In diesem „realistischen“ Szenario werden die „Lockdown“-Maßnahmen ebenso berücksichtigt wie die ersten Lockerungen Anfang Mai 2020. Dieses Szenario folgt derselben Maßgabe wie das Szenario B. Die Intensivkapazitäten des Gesundheitssystems sollen nicht überschritten werden. Der Unterschied zu Szenario B liegt darin, dass in diesem Szenario die Zahl der Infizierten nicht so gering wie möglich gehalten werden soll. Stattdessen soll die Intensivkapazität über einen längeren Zeitraum nahezu vollständig ausgeschöpft werden. Dies hatte zum einen den Hintergrund, dass ermittelt werden sollte, inwiefern es möglich ist, eine spürbare Immunität in der Gesellschaft aufzubauen. Zum anderen sollte ermittelt werden, ob es möglich ist, die Maßnahmen in nennenswertem Umfang zurückzufahren ohne eine Überbelastung des Gesundheitssystems zu verursachen.

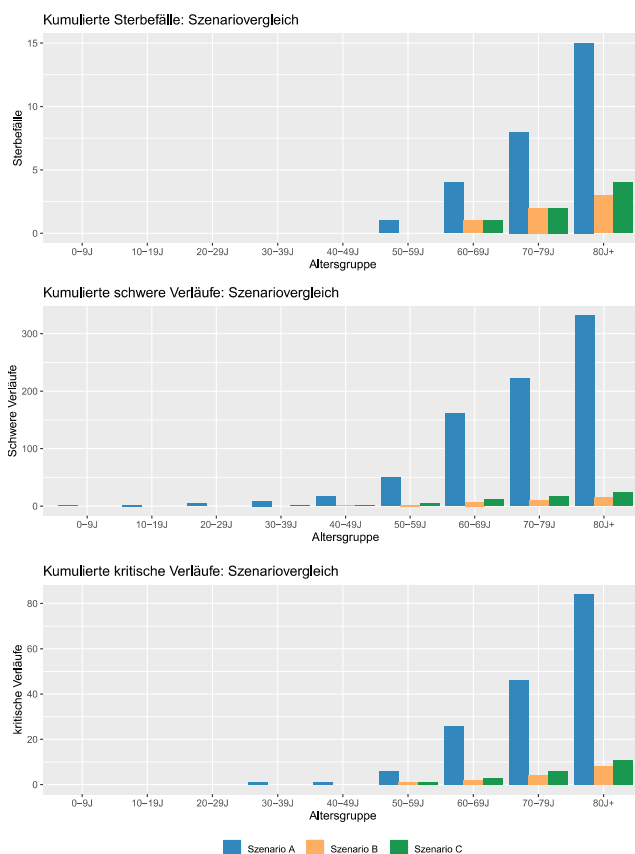
Abbildung 3: Verlauf der Epidemie mit Blick auf die schweren und kritischen Verläufe. Kritische Verläufe entsprechen Patient*innen auf der Intensivstation.



Ergebnisse

Die Modellergebnisse zeigen teilweise deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Szenarien. In Abbildung 2 sind die Epidemie-Verläufe für die Anzahl an infizierten und genesenen Personen aufgetragen. In Abwesenheit von Maßnahmen zur Kontaktreduzierung (Szenario A) kommt es zu einem deutlich größeren Infektionsgeschehen als in den anderen beiden Szenarien. In Verbindung mit Abbildung 2 und 3 wird der Einfluss von Maßnahmen zur Kontaktreduzierung noch deutlicher. In Szenario A wäre es im Modellzeitraum zu einer Überbelastung der Intensivstationen gekommen. Die Anzahl der Sterbefälle ist in Szenario A am Ende des Untersuchungszeitraums gering. Diese Zahlen würden im weiteren zeitlichen Verlauf jedoch schnell anwachsen, da über 100 Intensivbetten zu diesem Zeitpunkt belegt wären und die Wahrscheinlichkeit, an Covid-19 zu sterben, mit Eintritt eines kritischen Krankheitsverlaufs ansteigt. 100 Intensivbetten liegen bereits deutlich über den lokal verfügbaren Kapazitäten. Diese lagen im Modellierungszeitraum bei 20 Intensivbetten und 80 Betten auf der Normalstation; es wäre bei weiter steigenden Belegungszahlen aber sicherlich noch zur Schaffung weiterer Kapazitäten gekommen. Bei diesen Zahlen ist jedoch zu beachten, dass das Klinikum in Wolfsburg überregional Patienten aufnimmt. Unseren Schätzungen zufolge umfasst

Abbildung 4: Altersgruppen-spezifische Ergebnisse der drei Szenarien für Sterbefälle, schwere und kritische Verläufe.



der vom Klinikum versorgte Bereich etwa 200.000 Menschen, inklusive der 125.408 Einwohner*innen Wolfsburgs. Es wäre im angenommenen Szenario somit eine Verlegung von Covid-19 Patient*innen nötig und/oder es würde zu einer erhöhten Sterberate kommen, da eine bestmögliche Behandlung vieler Patient*innen nicht mehr gewährleistet werden könnte.

Die Unterschiede zwischen Szenario B und C sind insgesamt deutlich geringer als im Vergleich zu Szenario A. Dennoch führt eine Lockerung von Maßnahmen unmittelbar zur Dynamisierung des Infektionsgeschehens. Eine Überbelastung der Intensivstationen ist in beiden Szenarien nicht eingetreten. Eine sukzessive Durchseuchung der Bevölkerung findet weder in Szenario B noch in Szenario C statt. Die Lockerung der Maßnahmen, wie in Szenario C angenommen, führt zum Ende des Prognosezeitraums jedoch wieder zu einem Überschreiten des Schwellenwerts von 50 Neuinfektionen pro 100.000 Einwohner*innen in 7 Tagen. Zwischen Szenario B und C entwickelt sich der Epidemieverlauf von einem linearen Wachstum wieder zurück zu einem exponentiellen Wachstum.

Fazit

Die Modellierung von epidemiologischen Verläufen ist auch auf kommunaler Ebene möglich und informativ. Mit Hilfe von Szenarien zu möglichen Verläufen einer Epidemie kann abgeschätzt werden, ob die städtische Infrastruktur – insbesondere im Gesundheitswesen – ausreicht, wenn bestimmte Maßnahmen zur Kontaktreduzierung nicht angewendet werden, wieder zurückgenommen werden oder sich die Bevölkerung nicht an Maßnahmen hält. Des Weiteren ist auch eine Betrachtung des „worst-case“ Szenarios hilfreich, um zu vermitteln, welche Auswirkungen eine unkontrollierte Ausbreitung bei gegebener Demographie nach sich ziehen könnte.

Bei der aktuellen Covid-19 Epidemie ist das Alter ein zentraler Proxy für die Wahrscheinlichkeit, ob eine Person einen schweren oder kritischen Krankheitsverlauf entwickelt. Die lokale demographische Struktur unterscheidet sich zumeist stark von der auf Bundes- oder Landesebene. Das hat Auswirkungen auf das Infektionsgeschehen und das Gesundheitssystem, über die Politik und Mitglieder von Krisenstäben un-

bedingt auf kommunaler Ebene informiert sein sollten. Dabei sind die Anteile der älteren Bevölkerung ebenso wichtig wie die Anteile der hochgradig mobilen mittleren Altersjahrgänge und auch der oft symptomfreien jüngeren Altersjahrgänge.

Das verwendete Modell birgt aber auch viele Unsicherheiten. Gerade auf kommunaler Ebene können lokale Ausbrüche in Alten- oder Pflegeheimen das Infektionsgeschehen prägen. Diese Ausbrüche können mit den hier verwendeten Methoden nicht modelliert werden. Außerdem ist es schwierig, mit den auf kommunaler Ebene vergleichsweise geringen realen Fallzahlen ein Modell zu kalibrieren. Darüber hinaus kann in derartigen Modellierungen der Parameter „Krankenhauspersonal“ nicht berücksichtigt werden, der neben den Krankenhaus- und Intensivbetten insbesondere bei starkem Infektionsgeschehen und zunehmender Dauer einer Epidemie einen zusätzlichen limitierenden Faktor für die Kapazität des Gesundheitssystems darstellen kann.

Der Übergang von linearem zu erneut exponentiellem Wachstum konnte in den beiden Szenarien B und C modelliert werden. Dieses Ergebnis zeigt, wie schnell die Dynamik einer Epidemie sich erneut erhöhen kann und neue Maßnahmen notwendig werden. Diese Erkenntnisse spiegeln sich in der Realität im Laufe der zweiten Welle im Herbst 2020 vielerorts in Deutschland wider. Die hier vorgestellten Modellierungen können den schmalen Grat zwischen linearem und exponentiellem Infektionsgeschehen eindrücklich aufzeigen. Des Weiteren zeigt der Vergleich der Szenarien (Abb. 4) bereits auf, dass sich hohe Infektionsraten bei der gegebenen Altersstruktur rasch in den Fallzahlen der kritischen und tödlichen Verläufe niederschlagen. Daraus folgt, dass die volle Auslastung der Kapazitäten im Gesundheitssystem mittel- und langfristig sehr ernsthafte Konsequenzen nach sich zieht.

Dieses Wissen sollte mit einem regelmäßigen Monitoring der realen Situation kombiniert werden, um möglichst frühzeitig Maßnahmen einzuführen, die Bevölkerung zu sensibilisieren und Ausbrüche in Infektionsclustern so früh wie möglich unter Kontrolle zu bringen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen eindrücklich, dass es letztlich an jeder einzelnen Person liegt, wie sich das Infektionsgeschehen entwickelt, da das Verhalten jeder Person über die Ausbreitungschance des Virus entscheidet.

Literatur

DESTATIS (Statistisches Bundesamt) (2020): Bevölkerung nach Altersgruppen, Deutschland. <https://www.destatis.de/letzteAktualisierung>: 19.06.2020, Abruf: 28.01.2021.

Levin, Andrew T.; Hanage, William P.; Owusu-Boaitey, Nana; Cochran, Kensington B.; Walsh, Seamus P.; Meyerowitz-Katz, Gideon (2020): Assessing the age specificity of infection fatality rates for COVID-19: systematic review, meta-analysis, and public policy implications. *European Journal of Epidemiology*. <https://doi.org/10.1007/s10654-020-00698-1>

Kermack, William O. und Mc Kendrick, Anderson G. (1927): A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal*

Society of London. Series A, Vol. 115. S. 700–721. <http://doi.org/10.1098/rspa.1927.0118>

Khailaie, Sahamoddin; Mitra, Tanmay; Bandyopadhyay, Arnab; Schips, Marta; Mascheroni, Pietro; Vanella, Patrizio; Lange, Berit; Binder, Sebastian C.; Meyer-Hermann, Michael (2020): Development of the reproduction number from coronavirus SARS-CoV-2 case data in Germany and implications for political measures. *medRxiv*. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.04.20053637> (PrePrint)

Noll, Nicholas B., Aksamentov, Ivan, Druelle, Valentin; Badenhorst, Abrie; Ronzani, Bruno; Jefferies, Gavin; Albert, Jan; Neher, Richard A. (2020): COVID-19 Scenarios: an interactiv-

ve tool to explore the spread and associated morbidity and mortality of SARS-CoV-2. *medRxiv* 2020.05.05.20091363; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.05.05.20091363> (PrePrint)

R Core Team (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

RKI (Robert Koch Institut) (2021): FAQ Virus und Epidemiologie. <https://www.rki.de/>; Letzte Aktualisierung: 06.01.2021, Abruf: 28.01.2021.

Surveillances, Vital (2020): The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19), *China CDC Weekly* 2 (8), 113–122.